

KAJIAN DISTRIBUSI SEDIMENTASI WADUK BENING KABUPATEN MADIUN (EMPERICAL AREA REDUCTION METHOD DAN AREA INCREMENT METHOD)

Study of Sedimentation Distribution in Bening Reservoir at Madiun District (Empirical Area Reduction Method dan Area Increment Method)

Ernawan¹, Anastasia Irawati Putri²

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Jalan Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144

Alamat Korespondensi:

Email: thieyadsg@gmail.com

Abstract

Bening reservoir is one of the reservoirs located in East Java province which has an area of 5,7 km² area with water storage capacity of 31,7 million m³. In the management of a reservoir, there must be some problems among which is the problem of sedimentation. There are several methods that can be used to determine the distribution of sediments include Empirical methods Reduction Area, Area Increment and Moody's Modification. In this study the method used is the method of Empirical methods Reduction Area and Area Increment. From the analysis results obtained efficient method is the method of Empirical Area Reduction in order to get the volume of sediment that settles for 19 year amounted to 0,07million m³ and for 22 years 0,068 million m³.

Keywords : Sedimentation Distribution

Abstrak

Waduk Bening merupakan salah satu waduk yang berada di Propinsi Jawa Timur yang memiliki luas daerah genangan sebesar 5,7 km² dengan kapasitas tampungan air sebesar 31,7 juta m³. Dalam pengelolaan suatu waduk, pasti terdapat suatu masalah di antaranya yaitu masalah sedimentasi. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengetahui distribusi sedimen diantaranya adalah metode *Empirical Area Reduction*, *Area Increment* dan *Moody's Modification*. Pada studi kali ini metode yang digunakan adalah metode *Empirical Area Reduction* dan *Area Increment*. Dengan bertujuan untuk mengetahui metode yang paling sesuai diantara *Empirical Area Reduction Method* dan *Area Increment Method* untuk memprediksi distribusi sedimen di Waduk Bening Madiun Jawa Timur. Dari hasil analisa didapat metode yang efisien yaitu metode *Empirical Area Reduction* sehingga didapat volume sedimen yang mengendap untuk 19 tahun sebesar 0,070 juta m³ dan untuk 22 tahun sebesar 0,068 juta m³.

Kata kunci : Distribusi Sedimen

PENDAHULUAN

Waduk merupakan suatu bangunan air yang berfungsi untuk menampung air yang digunakan pada saat debit rendah. Dari segi kegunaannya waduk ada dua yaitu, waduk eka guna misalnya waduk yang khusus digunakan untuk irigasi, pembangkit listrik, pengendalian banjir, dan waduk serba guna (*multi purpose*) misalnya waduk yang berguna menyeluruh dalam satu waduk itu.

Salah satu masalah dari waduk yaitu sedimentasi. Sedimentasi merupakan proses kelanjutan dari peristiwa erosi atau peristiwa terkikisnya permukaan tanah akibat air hujan. Tanah tersebut mengalir melalui cekungan-cekungan, saluran-saluran air, kemudian masuk ke sungai.

Dalam studi ini penulis ingin menganalisa distribusi sedimentasi dengan beberapa metode yaitu *Moody's Modification*, *Empirical Area Reduction* dan *Area Increment*. Dari tiga metode tersebut akan dibandingkan dan akan diambil metode yang memiliki simpangan yang terkecil untuk menganalisa distribusi sedimentasi untuk usia rencana.

Metode *Empirical Area Reduction* .

Metode ini dikemukakan oleh Whitney M. Borland dan Carl L. Miller (1960) yang kemudian diperbaiki oleh Lara pada tahun 1962. (Yang,1976) Langkah-langkah perhitungan distribusi sedimen di waduk adalah sebagai berikut :

- Menentukan bentuk waduk yang sesuai
- Menghitung faktor tak berdimensi melalui persamaan berikut :

$$F = \frac{S_d - V_h}{H \cdot A_h}$$

Dimana :

F = faktor tanpa dimensi sebagai fungsi dari total endapan sedimen, kapasitas, kedalaman dan luas waduk.

S_d = total endapan sedimen (m³).

V_h = kapasitas waduk pada elevasi h (m³).

H = kedalaman air waduk awal (m).

A_h = luas waduk pada elevasi h (m²).

- Menghitung elevasi dari endapan sedimen yang mencapai bendungan yang merupakan titik dasar kedalaman baru (*new zero elevation*) berdasarkan hasil perpotongan antara garis yang terbentuk melalui hubungan titik-titik harga F dengan lengkung harga kedalaman relative (p) untuk tipe bentuk waduk yang sesuai (pada langkah 1) dengan menggunakan grafik pada Gambar 1.

$$V = \left\{ \frac{(\text{Luas sedimen elevasi } n-1) + (\text{Luas sedimen elevasi yang dituju})}{2} \times \text{selisih } H \text{ antara elevasi} \right\}$$

+ Volume sedimen elevasi n-1

- Berdasarkan perhitungan distribusi sedimen di Waduk Wonorejo tersebut, apabila volume sedimen kumulatif tidak sama dengan volume sedimen terendap, maka harga Z dikoreksi sebagai berikut:

$$Z_2 = Z_1 \frac{\text{Jumlah sedimen kumulatif}}{\text{Jumlah sedimen yang terendap}}$$

Harga Z dikoreksi terus sampai mendekati hasil jumlah sedimen yang terendapkan sama dengan sedimen kumulatif.

Metode Area Increment

- Menentukan kedalaman waduk, h_o : Kedalaman waduk yang terisi sedimen di bawah elevasi dasar baru ditentukan dengan cara coba – coba (*trial and error*).

- Menentukan luas sedimen relative (A_p) pada setiap kedalaman waduk yang diperoleh dari rumus sebagai berikut :

Tipe I : A_p = 5,074 P^{1,85} (1-P)^{0,35}

Tipe II : A_p = 2,487 P^{0,57} (1-P)^{0,41}

Tipe III : A_p = 16,967 P^{1,15} (1-P)^{2,32}

Tipe IV : A_p = 1,486 P^{-0,25} (1-P)^{1,34}

Dimana :

A_p = luas sedimen relative

P = kedalaman waduk relative diukur dari dasar

- Menghitung luas sedimen pada setiap elevasi waduk yang diperoleh dari harga A_p pada elevasi yang bersangkutan dikalikan dengan harga Z. Harga Z diperoleh dari luas mula-mula waduk pada *new zero elevation* dibagi dengan harga A_p pada elevasi tersebut.
- Menghitung volume sedimen pada setiap elevasi waduk setelah luas sedimen diketahui.

- Menghitung Kedalaman waduk aktual, H : H = elevasi n - LWL
- Menentukan luas terkoreksi, A_o : Luas terkoreksi merupakan luasan pada kondisi awal pada elevasi h
- Menghitung sedimen total, V_s' :

Volume sedimen total yang terendap di waduk diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_s' = A_o (H - h_o) + V_o$$

Dimana :

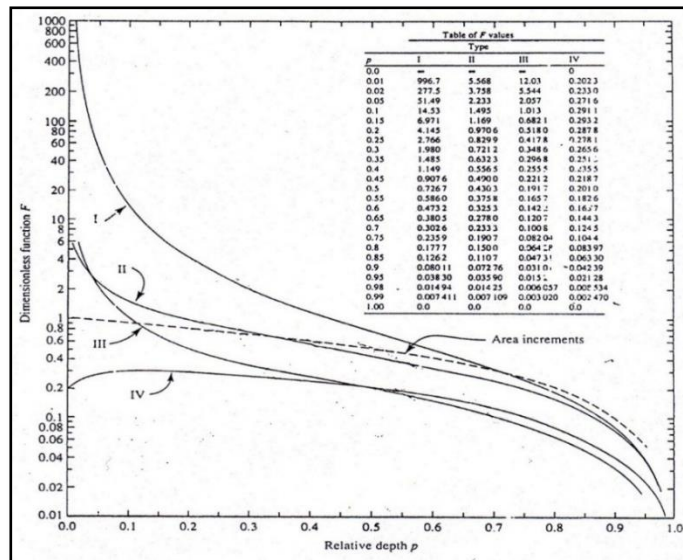
V = volume sedimen (juta m³)

A_o = luas sedimen (juta m²)

H = kedalaman waduk (m)

y_o = pertambahan tinggi elevasi dasar (m)

h_o = kedalaman waduk setelah terisi sedimen dibawah elevasi dasar waduk (m)



Gambar 1. Kurva Hubungan F – p

- Kontrol $V_s = V_s'$ atau selisih volume sedimen hasil perhitungan dengan volume sedimen awal tidak boleh lebih dari 1%.

Penentuan metode yang cocok dengan kondisi yang sebenarnya didasarkan pada perhitungan simpangan mutlak yang terkecil antara data dengan hasil perhitungan, baik dari hasil perhitungan menggunakan

Empirical Area Reduction Method, *Area Increment Method* dan *Moody's Modification*. Perhitungan simpangan mutlak menurut persamaan berikut :

$$S = \sum_{i=1}^n (X_i - X_d)$$

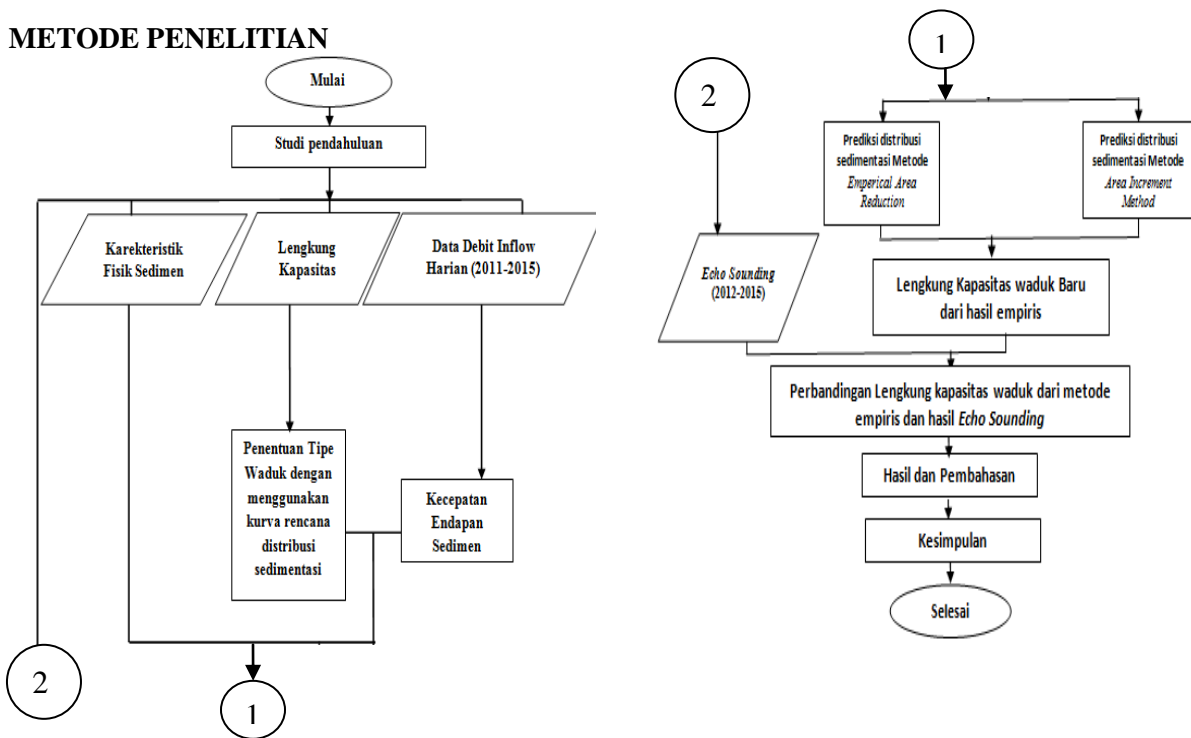
Dimana :

n = Jumlah Data

X_i = Kapasitas waduk hasil perhitungan

X_d = Kapasitas waduk hasil perhitungan *echo sounding*

METODE PENELITIAN



Gambar 2. Alur Kajian

Tabel 1. Data Laju Sedimen Waduk Bening

No.	Periode	Volume sedimen (m ³)	Rata-rata / Tahun (m ³)
1.	1993 – 2012	2.227.543,90	159.110,28
2.	2012 – 2015	2.977.317,44	595.463,49

Sumber : Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1

Tabel 2. Data Sedimen di Waduk Bening

Elevasi (m)	Volume tampungan (juta m ³)		Besarnya sedimen (juta m ³)	Volume tampungan (juta m ³)		Besarnya sedimen (juta m ³)
	1993	2012		1993	2015	
HWL = 108,60	31,704	28,634	2,97	31,704	28,634	2,97
LWL = 90,4	0,758	0,332	0,426	0,758	0,332	0,426
Volume Efektif	30,946	28,302	2,544	30,946	28,302	2,544

Sumber : Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1

Data Debit Inflow

Tabel 3. Data Debit Inflow Bulanan pada Tahun 2011 – 2015 (m³ / det)

Tahun	Bulan												Jumlah
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
2011	1,955	2,118	2,104	3,451	3,061	0,53	0,586	0,286	0,201	0,088	2,453	1,692	18,525
2012	3,138	1,976	0,591	1,506	0,268	0,362	0,099	0,36	0,073	0,101	0,231	1,496	10,201
2013	2,342	3,222	3,108	3,422	1,553	1,476	0,524	0,159	0,223	0,298	0,578	3,278	20,183
2014	1,626	2,5	2,922	1,755	0,202	0,22	0,256	0,101	0,13	0,117	0,422	2,59	12,841
Jumlah	10,693	14,53	13,74	14,207	5,084	2,588	1,465	0,906	0,627	0,604	3,684	9,056	77,186
Rerata	2,138	2,906	2,748	2,841	1,271	0,647	0,3662	0,226	0,1567	0,151	0,921	2,264	16,637

Sumber : hasil perhitungan

Penentuan bentuk waduk dapat ditentukan dari kurva rencana distribusi sedimen yaitu kurva hubungan antara persentase sedimen yang mengendap dengan persentase kedalaman waduk menurut kedalaman pada awal rencana. Dengan menggunakan cara tersebut dapat diketahui bahwa Waduk Bening mendekati bentuk kurva tipe I. Kemudian menghitung kerapatan endapan sedimen, dengan terlebih dahulu menghitung kerapatan sedimen awal. Persentase butiran sedimen berupa pasir sebanyak 7,61%, lanau sebanyak 65,78%, lempung sebanyak 26,33 %.

Tabel 4. Kerapatan Endapan Sedimen

T (tahun)	W _T (ton/m ³)
19	1,033
22	1,037

Sumber : hasil perhitungan

Efisiensi tangkapan merupakan perbandingan antara jumlah endapan sedimen di waduk dengan total sedimen yang masuk ke waduk. Jumlah sedimen yang tertahan di dalam waduk dapat diketahui dengan terlebih dahulu menentukan besarnya efisiensi tangkapan.

Tabel 5. Jumlah Sedimen Yang Tertahan Di Waduk Bening

T	W _t	Laju Sedimen	Sedimen Yang Mengendap
(tahun)	(ton/m ³)	(10 ⁶ .m ³)	(10 ⁶ .m ³)
19	1,033	2,3028	28,801
22	1,037	2,3101	31,345

Sumber : hasil perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil analisa distribusi sedimen pada Waduk Bening menggunakan dua metode, yaitu:

Metode Empirical Area Reduction

Tabel 6a. Distribusi Sedimen di Waduk Bening Untuk Masa Operasi Tahun 1993-2012

No	Elevasi (m)	Kondisi Tahun 1993		Relatif	Sedimen			Revised	
		Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)	Kedalaman (p)	Luas (Ap)	Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)	Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)
1	108,6	0,21	31,74	1	0	0	0,07	0,21	31,67
2	106,6	0,2	20,326	0,89	0,941	0,004	0,065	0,196	20,26
3	104,5	0,2	14,636	0,775	1,167	0,005	0,057	0,195	14,57
4	102,5	0,13	10,484	0,665	1,259	0,005	0,047	0,125	10,43
5	100,5	0,1	7,519	0,555	1,267	0,005	0,037	0,095	7,48
6	98,5	0,08	4,93	0,445	1,231	0,005	0,027	0,075	4,9
7	96,5	0,05	3,652	0,335	1,128	0,004	0,018	0,046	3,63
8	94	0,03	2,948	0,198	0,903	0,004	0,008	0,026	2,93
9	92	0,02	1,434	0,088	0,599	0,002	0,002	0,018	1,432
10	91,4	0,01	1,096	0,055	0,465	0,002	0,001	0,008	1,095
11	91,3	0,01	1,086	0,049	0,437	0,002	0,001	0,01	1,085
12	90,4	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 6b. Distribusi Sedimen di Waduk Bening Untuk Masa Operasi Tahun 2012-2015

No	Elevasi (m)	Kondisi Tahun 1993		Relatif	Sedimen			Revised	
		Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)	Kedalaman (p)	Luas (Ap)	Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)	Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)
1	108,6	0,21	31,74	1	0	0	0,068	0,21	31,7
2	106,6	0,2	20,326	0,89	0,941	0,0037	0,0652	0,2	20,3
3	104,5	0,2	14,636	0,775	1,167	0,0046	0,0565	0,2	14,6
4	102,5	0,13	10,484	0,665	1,259	0,0049	0,047	0,13	10,4
5	100,5	0,1	7,519	0,555	1,276	0,005	0,0371	0,1	7,5
6	98,5	0,08	4,93	0,445	1,231	0,0048	0,0273	0,08	4,9
7	96,5	0,05	3,652	0,335	1,128	0,0044	0,0181	0,05	3,6
8	94	0,03	2,948	0,198	0,902	0,0035	0,0082	0,03	2,9
9	92	0,02	1,434	0,088	0,599	0,0023	0,0023	0,02	1,4
10	91,4	0,01	1,096	0,055	0,465	0,0018	0,0011	0,01	1,1
11	90,95	0,004	0,348	0,03	0,334	0,0013	0,0004	0	0,3
12	90,4	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Metode Area Increment

Tabel 7a. Distribusi Sedimen di Waduk Bening Untuk Masa Operasi Tahun 1993-2012

No	Elevasi (m)	Kondisi Tahun 1993		H (m)	Ao (10 ⁶ m ²)	Vs' (10 ⁶ m ³)	Revised	
		Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)				luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)
1	108,6	0,21	31,74	18,2	0,03	3,176	0,18	28,56
2	106,6	0,2	20,326	16,2	0,03	3,116	0,17	17,21
3	104,5	0,2	14,636	14,1	0,03	3,053	0,17	11,58
4	102,5	0,13	10,484	12,1	0,03	2,993	0,1	7,49
5	100,5	0,1	7,519	10,1	0,03	2,933	0,07	4,59
6	98,5	0,08	4,93	8,1	0,03	2,873	0,05	2,06
7	96,5	0,05	3,652	6,1	0,03	2,813	0,02	0,84
8	94	0,03	2,948	3,6	0,03	2,735	0	0
9	93,9	0,03	2,735	3,5	0,03	2,735	0	0
10	92	0,02	1,434	1,6	0,02	1,434	0	0
11	91,4	0,01	1,096	1	0,01	1,096	0	0
12	90,4	0	0	0	0	0	0	0

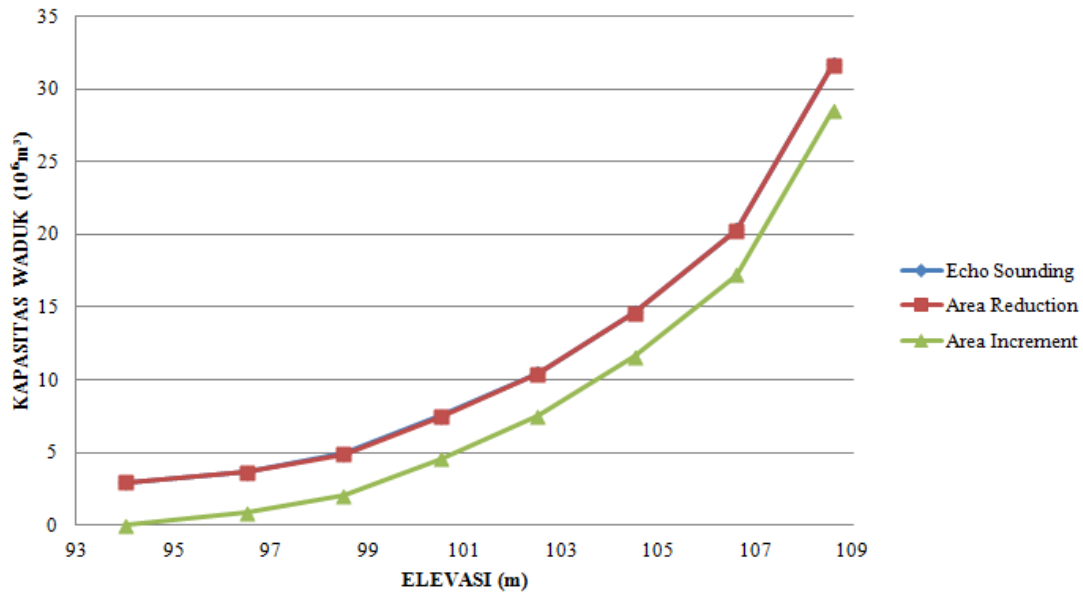
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7b. Distribusi Sedimen di Waduk Bening Untuk Masa Operasi Tahun 2012-2015

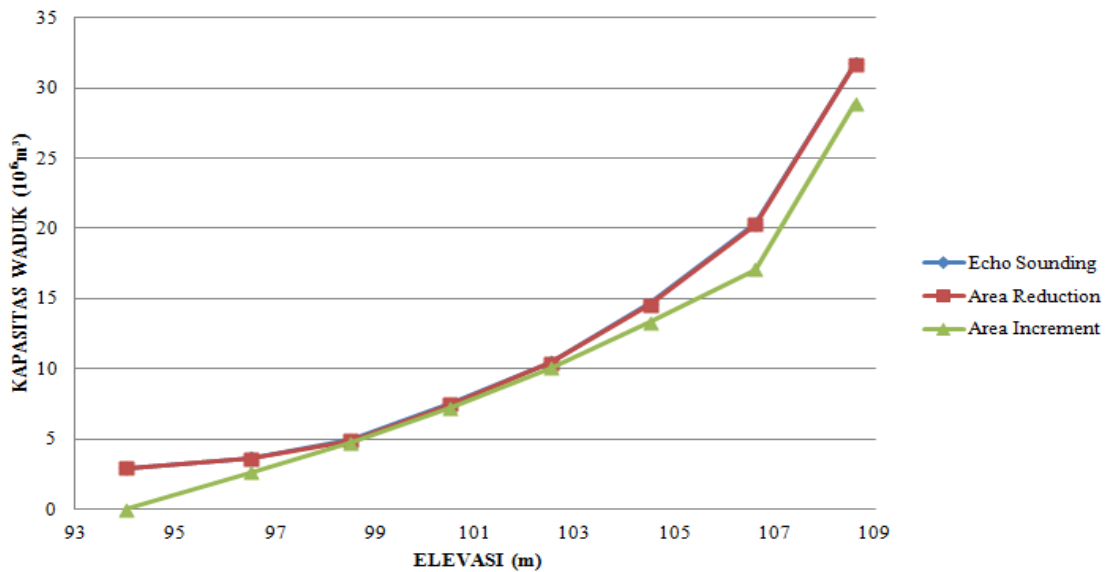
No	Elevasi (m)	Kondisi Tahun 1993		H(m)	Ao (10 ⁶ m ²)	Vs' (10 ⁶ m ³)	Revised	
		Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)				Luas (10 ⁶ m ²)	Kapasitas (10 ⁶ m ³)
1	108,6	0,21	31,74	18,2	0,021	2,857	0,19	28,88
2	106,6	0,2	20,326	16,2	0,021	2,815	0,18	17,51
3	104,5	0,2	14,636	14,1	0,021	2,771	0,18	11,87
4	102,5	0,13	10,484	12,1	0,021	2,729	0,11	7,76
5	100,5	0,1	7,519	10,1	0,021	2,687	0,08	4,83
6	98,5	0,08	4,93	8,1	0,021	2,645	0,06	2,29
7	96,5	0,05	3,652	6,1	0,021	2,603	0,03	1,05
8	94	0,03	2,948	3,6	0,021	2,55	0	0,4
9	92,9	0,021	2,527	3,5	0,021	2,527	0	0
10	92	0,02	1,434	1,6	0,02	1,434	0	0
11	91,4	0,01	1,096	1	0,01	1,096	0	0
12	90,4	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa tiga metode tersebut maka didapat perbandingan lengkung kapasitas sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan Lengkung Kapasitas Waduk tahun 2012



Gambar 4. Perbandingan Lengkung Kapasitas Waduk tahun 2015

Tabel 8. Besarnya Simpangan Pada Kedua Metode

Tahun	Metode	
	Area Reduction (10 ⁶ m ³)	Area Increment (10 ⁶ m ³)
2012	0,328	23,692
2015	0,327	21,655

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan tabel diatas, Metode *Area Reduction* memiliki simpangan lebih kecil dibandingkandengan Metode *Area Increment*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Volume sedimen di Waduk Bening adalah sebagai berikut :
 - *Emprical Area Reduction Method*
Untuk Masa Operasi tahun 1993-2012 sebesar 0,069 juta m³ dan untuk masa operasi tahun 2012-2015 sebesar 0,065 juta m³
 - *Area Increment Method*
Untuk Masa Operasi tahun 1993-2012 sebesar 3,176 juta m³ dan untuk masa

operasi tahun 2012-2015 sebesar 2,857 juta m³

- Elevasi dasar waduk baru (*new zero elevation*) adalah sebagai berikut :
 - *Emprical Area Reduction Method*
Untuk Masa Operasi 19 tahun elevasi +91,31 dan untuk masa operasi 22 tahun elevasi +96,95
 - *Area Increment Method*
Untuk Masa Operasi 19 tahun elevasi +93,90 dan untuk masa operasi 22 tahun elevasi +92,90
- Metode yang paling sesuai untuk memprediksi distribusi sedimentasi di Waduk Bening adalah *Emprical Area Reduction Method*, karena memiliki simpangan lebih kecil dibandingkan dengan *Area Increment Method*, baik pada tahun 2012 maupun tahun 2015.

Saran

- Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai penyebab besarnya laju sedimentasi di Waduk Bening serta penanganannya.
- Mengingat tingkat laju sedimentasi rata-rata pertahun cukup tinggi, maka perlu dilakukan monitoring sedimentasi secara periodik sekurang-kurangnya 5 tahun sekali.
- Perlu dilakukan usaha-usaha pencengahan sedimentasi ke Waduk Bening mengingat pentingnya Waduk Bening bagi masyarakat Kabupaten Madiun.

DAFTAR PUSTAKA

- Priyantoro, Dwi. 1987. *Teknik Pengukuran Sedimen*. Malang: Teknik Universitas Brawijaya
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Penerbit Usaha Nasional
- Soewarno, 2015. *Analisis Data Hidrologi Menggunakan Metode Statistika dan Stokastik*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Yang, Chih Ted. 1976. *Sedimen Transpoertasi* New York : Mc Graw Hill Compaines, Inc
- Faris, Rahman. 2015. *Studi Kajian Distribusi Sedimentasi Waduk Sutami – Karangates Malang-Jawa Timur (Tahun 2009-2013)*. Skripsi Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Malang
- Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1. 2011-2015. *Debit Inflow*. Tidak dipublikasikan. Malang: Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1.
- Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1. 2012-2015. *Echo Sounding*. Tidak dipublikasikan. Malang: Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1.